

МЕТОДИКА ЭТАЛОНИРОВАНИЯ ТЕРМИСТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕРНЫХ ПРОВОЛОК

Г. Н. ГУЩИН

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Принципиальная схема и физико-технические характеристики таких термисторов достаточно подробно изложены в статьях [1], [2].

Проведенные автором исследования показали, что термистор оказывается весьма полезным для многих отраслей народного хозяйства, как чувствительный и достаточно надежный полупроводниковый термометр, позволяющий (при соответствующем устройстве кожуха у его щупа) измерить температуру в точках любого тела и среды. При этом термисторы (полупроводниковые термосопротивления) обладают рядом серьезных преимуществ по сравнению с другими видами температурных датчиков.

В данной статье подробно освещается методика эталонирования термисторов, используемых для измерения в малых диапазонах температур любого тела со средней ошибкой порядка $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Эталонирование (градуировка) термистора имеет целью выразить в делениях шкалы Цельсия изменяющийся от температуры угол поворота указателя потенциометра в тот момент, когда ток в диагональ мостика Уитстона равен нулю. Проградуированный термистор позволяет непосредственно делать отсчеты температуры по указателю потенциометра.

Общеизвестная методика градуирования теплоизмерительных приборов путем использования постоянных температурных точек (точек плавления веществ, замерзания и кипения воды и т. п.) с последующим делением полученного температурного интервала на равные промежутки не приемлема для эталонирования термисторов по двум причинам. Во-первых, при решении задач геодезии приходится встречаться с малыми температурными диапазонами (порядка от -20° до $+10^\circ\text{C}$, от 0° до $+35^\circ\text{C}$). Для градуировки термистора в таких температурных пределах практически затруднительно получить постоянные температурные точки. Во вторых, полупроводниковые термосопротивления, независимо от их конструкции, изменяют величину своего сопротивления в зависимости от температуры по экспоненциальному закону:

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}, \quad (1)$$

где A и B — постоянные, T — абсолютная температура.

Это обстоятельство вынуждает отмечать на температурной шкале прибора положение каждого (отдельного) градуса или доли его. Последнее подтверждено результатами градуирования по предлагаемой ниже методике более десяти полупроводниковых микротермосопротивлений МТ-54 конструкции В. Г. Карманова. При этом установлено, что каждому отдельному термистору соответствует своя температурная шкала, и линейная величина градуса на этой шкале различна (см. рис. 1, на котором изображены температурные шкалы двух термосопротивлений типа МТ-54 № 59 и № 129).

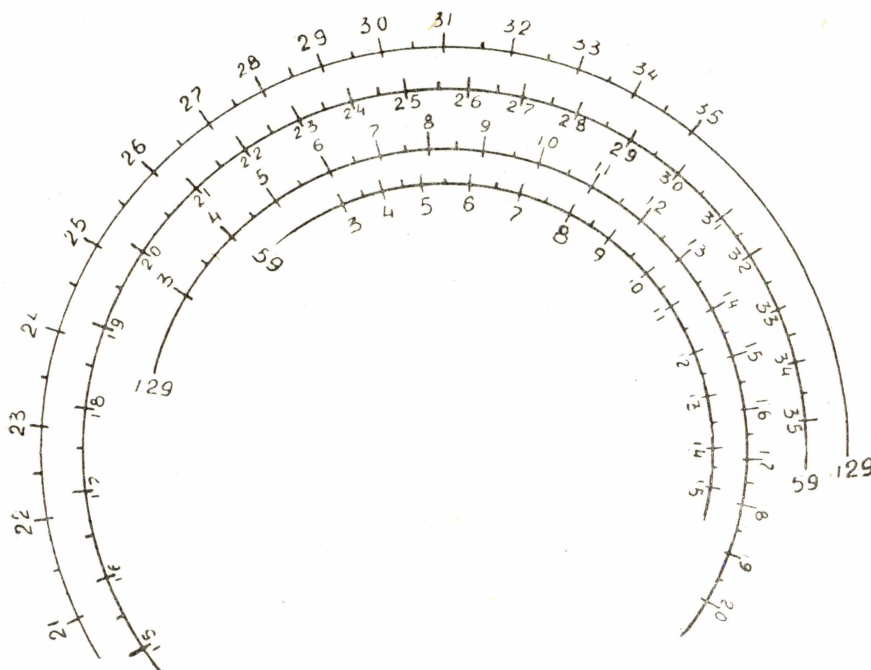


Рис. 1.

Для определения положения каждого градуса на температурной шкале термистора при его эталонировании использовался постепенный и плавный нагрев (или охлаждение) вещества, температура которого измерялась термометром и одновременно отмечалась на шкале прибора. Эталонирование выполнялось следующим образом. В стеклянный стаканчик 1 (рис. 2), заполненный каким либо веществом, погружается ртутный термометр 2 и щупы (датчики) 3 термисторов, которые укрепляются при помощи штатива 4 так, чтобы они вместе с резервуаром термометра всегда были погруженными в вещество, температура которого измеряется. Стаканчик 1 с веществом опускается в другой стеклянный стакан 5 и подвешивается в нем на подпорках 6. Пространство между стаканчиками 1 и 5 заполняется водой, которая в процессе градуировки периодически перемешивается мешалкой 7. Температура вещества определяется по термометру и одновременно отмечается на шкале 8 термистора по указателю потенциометра после того, когда вращением последнего стрелка нульгальванометра установится в нулевое положение. Изменение температуры вещества достигается охлаждением воды путем добавления в нее льда или смеси из снега и поваренной соли, либо медленным подогревом воды при помощи электроплитки 9 (рис. 2). На плитку предварительно кладется слой асбеста 10. Общий вид установки, используемой для градуирования термисторов, показан на рис. 3.

Точность результата эталонирования термистора по предлагаемой методике зависит от ряда причин, на выявлении которых и остановимся.

1) Прежде всего, на результат эталонирования оказывают влияние тепловые параметры вещества, температура которого измеряется одновременно термометром и термисторами. При исследованиях в качестве вещества, заполняющего стаканчик 1 (рис. 2), использовалась водопроводная и дистиллированная вода; воздух, находящийся в термостате; воздух, заключенный в термокамеру типа МПС-250; трансформаторное масло и ртуть.

➡ Ртуть, благодаря своей вязкости и высоким коэффициентам теплопроводности λ и температуропроводности a , оказалась самым подходящим веществом, обеспечивающим достаточно быстрое тепловое

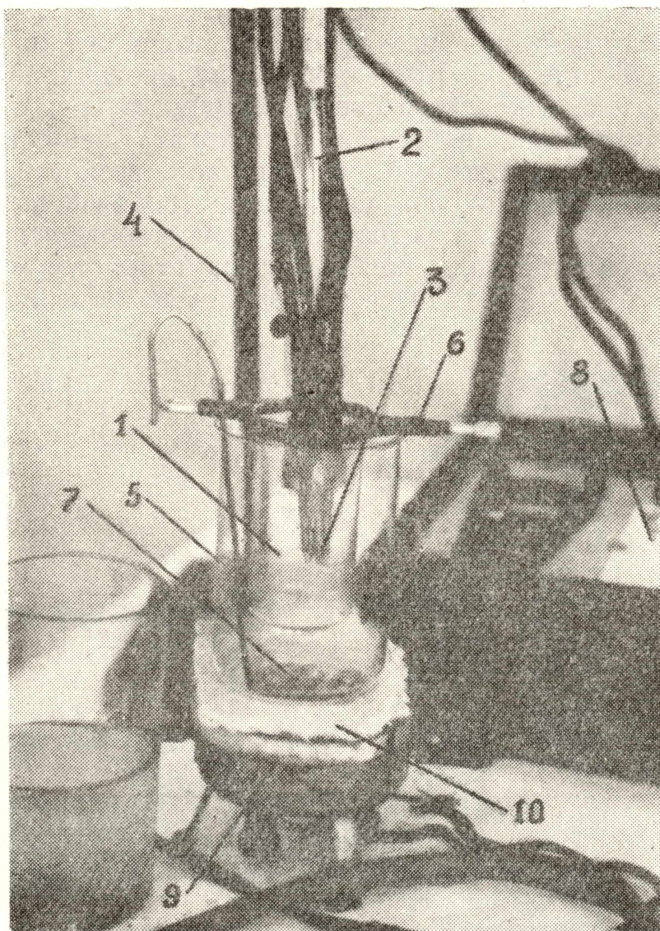


Рис. 2.

равновесие по всему своему объему и отличный тепловой контакт с термометром и щупами термисторов. Точность результата эталонирования при измерении температуры ртути оказалась самой высокой (средн. квадр. ошибка равна $\pm 0,1^\circ\text{C}$). Максимальное расхождение в показаниях термисторов при повторных градуировках равно $\pm 0,3^\circ\text{C}$ (см. табл. 1).

Самым неподходящим веществом для эталонирования оказалось трансформаторное масло. Трансформаторное масло, будучи помещенным в железную банку диаметром 30 см и высотой слоя масла 3 см, при температурном диапазоне от 0° до $+20^\circ\text{C}$, давало в различных точ-

ках исследуемого объема максимальное расхождение температур до $\pm 3,0^{\circ}\text{C}$. При этом было обнаружено, что различные точки одного и того же горизонтального слоя масла имеют примерно одинаковую температуру. Температура таких слоев увеличивалась к месту подогрева (к дну банки). Такая большая неоднородность температурного поля по указанному объему трансформаторного масла объясняется низким коэффициентом теплопроводности его при малых температурах.

Максимальные расхождения в показаниях термисторов при повторных градуировках в воздухе наблюдались: а) при измерении температуры воздушного цилиндра диаметром 34 см и высотой 28 см, находящегося в термостате, до $\pm 1,7^{\circ}\text{C}$; б) при измерении температуры воздушного квадрата объемом в 250 литров, заключенного в термокамеру, до $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$.

При измерении температуры воды, находящейся в цилиндре диаметром 4,5 см и высотой 5 см, максимальные расхождения в показаниях термисторов при повторном эталонировании наблюдались в водопроводной воде до $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ и в дистиллированной — до $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, в качестве среды, температура которой отмечается при градуировании, необходимо выбирать вещество, обладающее химической однородностью, достаточной вязкостью и высокими тепловыми параметрами (λ , α). Указанным требованиям практически удовлетворяет ртуть. Для устранения возможности испарения ртути, на нее наливается слой воды или трансформаторного масла высотой 2—3 мм. Этот слой в то же время является термоизоляционным.

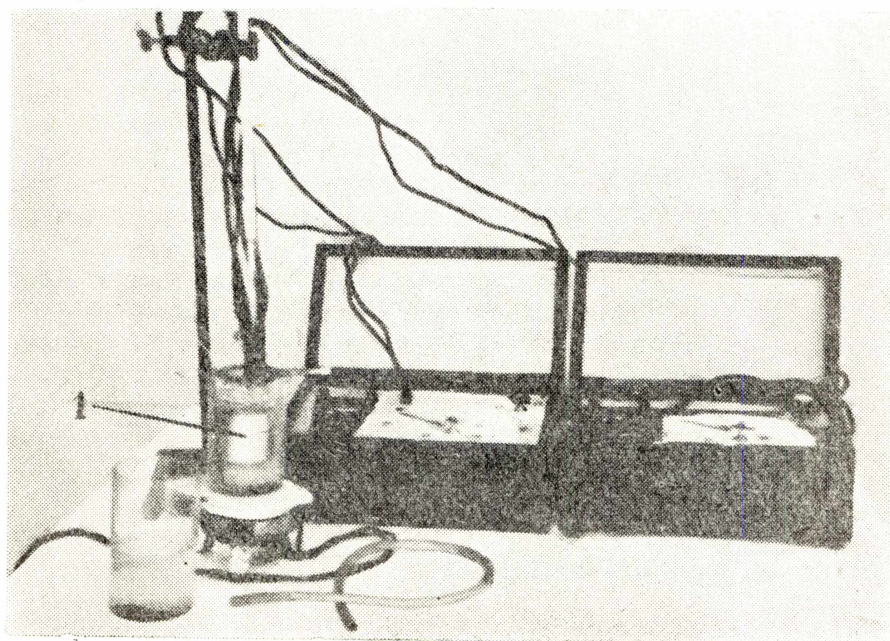


Рис. 3.

2) Точность эталонирования, кроме того, зависит от объема вещества, температура которого измеряется при градуировке. Как известно, скорость протекания процесса распространения тепла для какого-либо тела тем больше, чем больше отношение его поверхности к объему. Для цилиндрических и призматических тел скорость процесса в сильной мере зависит от их длины. Чем меньше длина, тем выше скорость. Многочисленными опытами установлены следующие, наиболее подходящие, размеры ртутного цилиндра 1 (рис. 3): высота 4—5 см,

диаметр 4—4,5 см. Исходя из удобства работы и учитывая размеры ртутного цилиндра, для установки (рис. 2) рекомендуется внутренний стаканчик (1) высотой 9 см, диаметром 4—4,5 см и внешний стакан (5) высотой 11 см, диаметром 7—8 см. Высота слоя воды, заключенного между стаканчиками, рекомендуется порядка 8 см.

3) При эталонировании очень важно правильно выбрать термометр. Термометры необходимо применять проверенные. При этом лучше брать термометры, у которых меньше резервуар, вследствие того, что стекло обладает значительным термическим последствием. Поэтому при охлаждении после временного нагрева резервуар термометра не сразу принимает тот объем, который соответствовал первоначальной температуре. Кроме того, при цилиндрической форме резервуара, как уже отмечалось, скорость протекания процесса распространения тепла по ртути, заполняющей термометр, тем выше, чем меньше длина резервуара. При исследованиях применялся термометр ГОСТ 2045—43, со шкалой от $-2,5^{\circ}$ до $+52,5^{\circ}\text{C}$ и с ценой деления в $0,1^{\circ}\text{C}$. Проверка термометра с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$ выполнена в Томском отделении Палаты мер и весов 15 июня 1960 г.

Как известно, термометры градуируются в термостатах. При этом они погружаются в жидкость, заполняющую термостат до отсчитываемого деления (т. е. вся заполняющая термометр ртуть находится при температуре измеряемой среды). Выступающий столбик ртути из термостата имеет другую температуру. Поправка в показания термометра на выступающий столбик может быть подсчитана по формуле

$$c = n\alpha(t - t_1), \quad (2)$$

где c — поправка, выраженная в градусах;

n — число градусов в выступающем ртутном столбике;

α — видимый коэффициент расширения ртути в стекле, равный 0,00016 для наиболее употребительных сортов стекла типа иенских 16^{'''}, 59^{'''} и по ОСТ 40117;

t — температура, отсчитанная по термометру;

t_1 — средняя температура выступающего столбика ртути, которая определяется с помощью вспомогательного термометра 1 (см. рис. 4)

Условия, в которых мы производили градуировку, характеризуются следующими данными. Термометр был погружен в ртуть до деления 0°C и показывал (для заданного температурного диапазона) максимальное значение температуры $t = n = +35^{\circ}\text{C}$. Градуировка производилась в комнате и температура, показываемая вспомогательным термометром, равна $t_1 = +18,0^{\circ}\text{C}$. Максимальная поправка в показания термометра на выступающий ртутный столбик, согласно формуле (2), будет равной

$$c_{\max} = 35 \times 0,00016 \times (35 - 18) = 0,095^{\circ} = 0,1^{\circ}\text{C}$$

Произведенный расчет показывает, что при градуировании термистора, предназначенного для определения температур мерных проволок в диапазоне от 0° до $+35^{\circ}\text{C}$, нет оснований учитывать поправку в показания термометра-эталона на выступающий ртутный столбик.

4) Далее следует обратить внимание на то обстоятельство, что стрелка гальванометра находится в подвешенном состоянии и „свободно“ вращается только при горизонтальном положении гальванометра. Поэтому для обеспечения достаточной точности эталонирования необходимо перед началом градуирования термисторы устанавливать в гори-

горизонтальное положение по уровню. Специальными исследованиями установлено, что при наклоне термистора относительно горизонтальной плоскости на угол, равный 18° , его показания содержат ошибку в отсчитываемой температуре порядка $1,0^\circ\text{C}$.

5) Наконец, исключительно важное значение на точность эталонирования оказывает скорость изменения температурного режима. На основании многократных опытов рекомендуется нагрев ртути производить естественным путем, т. е. окружающим воздухом. Делается это следующим образом. Воду, находящуюся между стаканчиками (а следовательно, и ртуть), охлаждают на $1\text{--}2^\circ\text{C}$ ниже заданной минимальной температуры для принятого температурного диапазона. Так как окружающий установку (рис. 3) воздух имеет комнатную температуру (температуру эталонирования), то через некоторое время температура ртути начнет повышаться и достигнет температуры воздуха. В момент изменения температуры ртути на шкале термистора отмечается положение каждого, отдельного градуса (или доли его) по показанию термометра-эталона. Когда ртуть достигнет комнатной температуры, то ее дальнейший нагрев осуществляется при помощи электроплитки на $1\text{--}2^\circ\text{C}$ выше заданной максимальной температуры. Затем отключают напряжение. Температура ртути постепенно опускается до комнатной. Такое изменение температурного режима ртути оказывается самым надежным. Процесс охлаждения и нагрева ртути окружающим воздухом происходит медленно и равномерно (без отдельных тепловых очагов) и длится для диапазона от 0° до $+35^\circ\text{C}$ в течение $4\text{--}5$ часов. Точность результата эталонирования в данном случае оказывается наиболее высокой.

В целях экономии времени при эталонировании следует изменение температуры ртути производить путем подогрева воды с помощью электроплитки, давая напряжение в $40\text{--}50$ вольт при подогреве ртути до $+30\text{--}32^\circ\text{C}$, и напряжение в 70 вольт при нагреве выше $+32^\circ\text{C}$. При этом рекомендуется положение градуса на шкале прибора отмечать и при нагреве и при охлаждении ртути. За окончательное положение принимается среднее из положений градуса на шкале при нагреве и охлаждении. Максимальные расхождения в показаниях термисторов при таком изменении температурного режима ртути и повторных градуировках составляли $\pm 0,3\text{--}0,4^\circ\text{C}$. Время, затрачиваемое на эталонирование термистора для диапазона от 0 до $+35^\circ\text{C}$, равнялось $3\text{--}3,5$ часа ¹⁾.

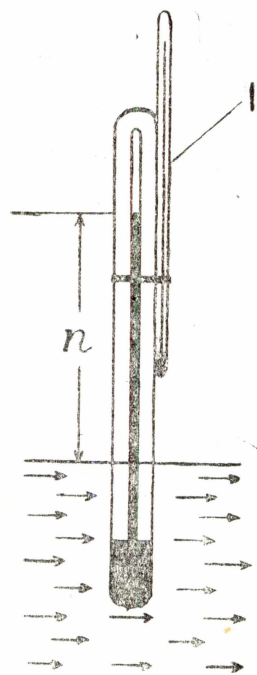


Рис. 4.

¹⁾ Кстати заметим, что при наличии стрелочного гальванометра „φ“ на $2\text{--}4$ милливольта или микроамперметра типа М95 целесообразно для определения температуры ртути вместо термометра применить термопару. Термопара позволит исключить инертность термометра и добиться измерения температуры именно в заданной точке ртутного цилиндра. Последнее обстоятельство позволит путем использования при подогреве ртути более высокого напряжения значительно ускорить процесс эталонирования без снижения точности результата.

Таблица 1

Сводная ведомость результатов наблюдений за стабильностью показаний термисторов Т-3

Температура по ртутно- му термо- метру	Показания термисторов															
	20 декабря 1959 г.				10 сентября 1960 г.				5 июня 1960 г.				26 августа 1960 г.			
	№ 59	№ 129	№ 110	№ 120	№ 59	№ 129	№ 110	№ 120	№ 59	№ 129	№ 110	№ 120	№ 59	№ 129	№ 110	№ 120
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,0	3,0	3,2	3,1	2,9	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	3,2	3,2
4,0	4,1	4,0	4,1	4,1	3,9	4,1	4,2	4,0	4,0	4,1	4,1	3,9	4,0	4,1	4,1	4,0
5,0	5,0	5,1	5,2	5,1	5,1	5,0	5,1	4,9	5,0	5,1	5,1	5,0	5,1	5,1	5,0	5,1
6,0	6,0	6,0	6,1	5,9	6,0	5,9	6,1	6,0	6,0	6,0	6,1	6,0	6,1	6,0	6,0	6,0
7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	7,0	6,9	7,0	7,1	7,1	7,0	7,1	7,0	7,1	7,2
8,0	8,0	8,1	8,1	8,2	8,1	8,2	8,0	8,1	7,9	8,0	8,1	8,2	8,0	8,1	8,1	8,0
9,0	9,0	9,0	9,0	9,1	9,1	9,0	8,9	9,0	9,0	9,1	9,1	9,1	9,0	9,0	9,0	9,1
10,0	10,1	10,0	9,9	10,0	10,2	10,1	10,0	10,2	10,1	10,0	10,0	10,1	10,1	10,2	9,9	10,2
11,0	11,0	11,0	11,0	11,1	11,0	11,1	11,2	11,1	11,0	11,2	11,1	11,0	11,1	11,0	11,1	11,1
12,0	12,1	12,2	12,1	12,0	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,2	12,1	12,0	12,0	12,0	12,1
13,0	13,0	13,1	13,1	13,0	13,0	13,1	13,2	13,1	13,0	13,0	13,1	13,0	13,1	13,2	13,1	13,2
14,0	14,2	14,1	14,1	14,3	14,2	14,1	14,0	14,0	14,1	14,2	14,1	14,0	14,1	14,2	14,0	14,1
15,0	15,1	15,0	15,0	15,1	15,2	15,1	15,1	15,2	15,0	15,1	15,0	15,2	15,1	15,1	15,2	15,0
16,0	16,0	16,1	16,1	16,0	16,0	16,0	16,0	16,1	16,1	16,0	16,1	16,0	16,1	16,2	16,1	16,0
17,0	17,1	17,0	17,1	17,0	17,1	16,9	16,9	16,0	16,1	16,8	16,9	16,9	17,1	17,0	17,1	17,1
18,0	18,0	18,1	18,1	18,0	18,2	18,2	18,0	17,9	18,1	18,0	18,1	18,1	18,0	17,9	17,9	17,9
19,0	19,1	19,2	19,1	19,0	19,2	19,1	19,1	19,0	19,0	19,2	18,9	18,9	19,0	19,1	19,2	19,0
20,0	20,2	20,1	20,0	19,9	20,1	20,2	20,0	19,9	20,1	20,1	20,0	20,1	20,0	20,1	19,9	20,2
21,0	20,9	20,8	21,0	21,1	21,0	21,1	21,0	21,1	21,1	21,0	21,1	20,9	21,1	21,0	20,9	21,0
22,0	22,0	22,0	22,1	22,0	22,1	22,2	22,0	21,9	22,0	21,9	22,0	22,1	22,2	22,1	22,1	22,0

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
23,0	23,1	23,0	23,0	23,1	22,9	22,8	23,0	23,1	23,0	23,0	23,1	23,1	23,0	23,1	23,0	23,1
24,0	24,0	24,0	24,1	24,2	24,0	24,0	24,1	23,9	24,0	24,1	24,1	24,0	24,2	24,1	24,2	24,1
25,0	25,0	25,1	25,0	25,1	25,1	25,0	25,2	25,0	25,1	25,1	25,0	24,9	25,1	25,2	24,9	25,0
26,0	26,1	26,0	26,1	26,2	26,0	25,9	26,0	26,1	26,2	26,1	26,0	26,1	26,0	26,1	26,2	25,9
27,0	27,0	27,1	27,0	27,1	27,2	27,1	27,0	27,1	27,0	27,1	26,9	27,2	27,3	27,1	27,2	27,2
28,0	28,1	28,0	27,8	27,9	28,1	28,0	28,1	28,2	28,1	28,0	28,0	28,0	28,2	28,1	28,1	28,0
29,0	29,2	28,9	29,1	29,0	28,9	29,1	29,0	29,1	29,1	28,9	29,0	29,2	29,1	29,0	28,9	29,1
30,0	30,0	30,1	30,0	29,9	29,9	30,0	30,2	30,0	30,1	29,9	30,1	30,1	30,2	30,0	30,1	30,3
31,0	31,1	31,0	31,0	31,2	31,0	30,9	30,9	30,9	31,2	31,1	30,9	30,9	31,0	31,1	31,2	31,2
32,0	32,0	32,0	32,1	31,9	32,1	32,0	32,0	32,1	32,0	32,2	32,2	31,8	32,1	32,2	31,0	32,1
33,0	32,9	33,1	32,7	33,2	33,0	33,1	33,1	33,0	33,1	33,1	33,0	33,2	33,0	32,9	33,1	33,0
34,0	34,0	34,0	34,1	34,0	33,9	33,7	34,0	34,2	34,1	33,9	34,1	34,0	33,9	34,0	34,2	34,1
35,0	35,1	35,1	35,0	34,8	35,0	35,1	35,2	34,7	35,2	35,1	35,0	34,9	35,1	35,0	35,2	35,1

Сделаем несколько замечаний по методике эталонирования.

Перед началом градуирования термисторов необходимо проверить совпадение стрелки гальванометра с нулем его шкалы при отсутствии тока и открепленном арретире. В целях удобства работы щупы термисторов и термометр следует скрепить медной проволокой по возможности ближе к одной точке (см. рис. 2). Штатив нужно установить так, чтобы щупы и термометр не касались стенок стаканчика (рис. 2) и отстояли от его дна на 1—1,5 см. Для экономии питания термистора рекомендуется включать ток только в момент фиксации положения градуса на его шкале. С целью выявления необходимости повторного эталонирования термистора и контроля его работы, автором предложено изготовление сдвоенных термисторов на одном мостике Уитстона. Общий вид таких термисторов (Т—3) представлен на рис. 3.

Проверка предлагаемой методики эталонирования (равно как и стабильности показаний термистора) производилась путем периодической градуировки полупроводниковых микротермосопротивлений типа МТ-54 за № 59, 110, 129, 120. Указанные микросопротивления были выпущены 29/IX 1959 г. и имели следующие основные технические характеристики:

1. Электрическое сопротивление при 20° С колеблется от 3980 до 4025 ом;

2. Температурный коэффициент при 20° С колеблется от 3,50 до 3,75 ‰;

3. Постоянная времени равняется 10 секундам.
Результаты проверки приведены в табл. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постников М. В., „Некоторые вопросы повышения точности измерения длин линий при геодезических работах“. Сборник научных трудов ТИСИ, том II, 1957.
2. Постников М. В. и Шварцман, Я. В., „Прибор для определения температур измерительных проволок (вторая модель)“. Сборник научных трудов ТИСИ, том IV, 1958.
3. Термосопротивления, полупроводниковые сопротивления с большой величиной температурного коэффициента. Ленинград, 1957.
4. Преображенский В. П., „Теплотехнические измерения и приборы“. Госэнергоиздат, 1950.
5. Михеев М. А., „Основы теплопередачи“. Госэнергоиздат, М.—Л., 1956 г.